電動車両用パワーエレクトロニクス研究

電磁波が人体に及ぼす影響とパワーエレクトロニクス

2015年3月31日
広島大学
産学・地域連携センター
勝代健次
E-mail : shodai@hiroshima-u.ac.jp

目次

1 電動車両からの電磁波発生
1-1 電磁波発生源
1-2 自動車電装品に要求されるEMC要件
2 電磁波の人体への影響
2-1 熱作用について
2-2 非熱作用について
2-3 心臓ペースメーカへの影響について
3 家電製品の磁界レベル
4 電動車両の磁界レベル
4-1 走行中の磁界レベル
4-2 充電中の磁界レベル
4-3 ワイヤレス充電での電磁波課題
4-4 電動車両の磁界レベルまとめ
5 まとめ

1.電動車両からの電磁波発生 3

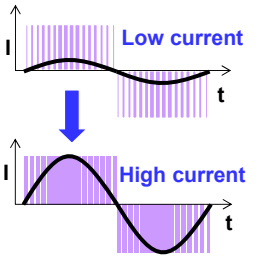
1-1 電磁波発生源

・HV,P-HV,EVの様々な電気機器から電磁波が発生する。

・大電流を制御する部品　⇒強力な電磁波が発生

【電動車両】

・バッテリ
・インバータ
・モータ
・DCDCコンバータ
・空調用電動コンプレッサ
・電動ウォーターポンプ
・電動オイルポンプ
・ブレーキ用電動真空ポンプ
・車載充電器



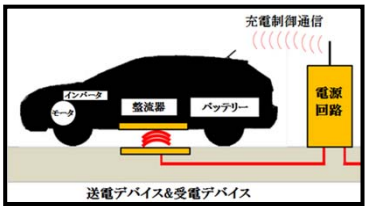
【PWM方式大電流制御】

1.電動車両からの電磁波発生 4

1-1 電磁波発生源

・P-HV,EV 用充電器からも電磁波が発生する。

・普通充電器　・急速充電器　・ワイヤレス充電器



1-2 車両電装品に要求されるEMC要件 5

■EMI （Electro Magnetic Interference ）

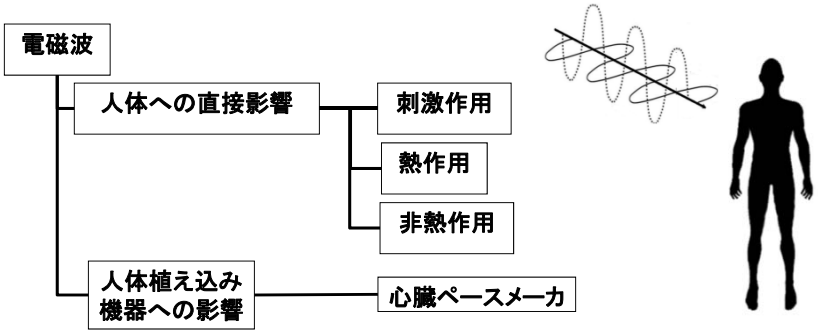
目的	周波数帯	規格等	カーメーカ対応
他の電子機器への影響防止	120KHz～2.5GHz	CISPR-25	←＋α
自車ラジオノイズ防止	AM帯 500kHz～1700kHz FM帯 76MHz～108MHz		独自基準
人体への影響防止	1Hz～400kHz	ICNIRP	←
			スマートキー等の心臓ペースメーカへの影響防止

■EMS （Electro Magnetic Susceptibility ）

目的	周波数帯	規格等	カーメーカ対応
自車電装品への影響防止	150KHz～3.2GHz	ISO11452	個別部品 ←＋α （1m法で評価）
			車 150KHz～2GHz （3m法で評価）

2.電磁波の人体への影響 6

■電磁波が人体へ及ぼす影響の種類



2.電磁波の人体への影響 7

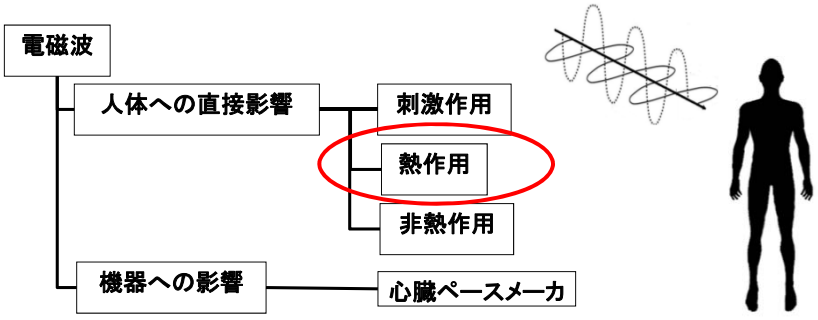
■人体への直接影響

人の細胞は低周波ではコンデンサとして働き、電位差を生ずる。
電位差により、電流が流れ刺激となる。

刺激作用	電磁波の影響で人体内に誘導電流が流れ、末梢神経、中枢神経の刺激、網膜閃光現象を生ずる。 100kHz以下で発生する。 刺激自体は危険ではない。
熱作用	電波の一部は人体に吸収されて、熱となり、体温を上昇させる。 100kHz以上で発生し、10MHz以上で支配的になる。 体温上昇は、人体に影響がある。
非熱作用	以下の様な症状の要因として疑われているが、明確でない。 ・遺伝子損傷 ・腫瘍や白血病などのがんが発症 ・頭痛 ・睡眠や学習に影響

2-1 熱作用 8

熱作用



2-1 熱作用 9

体内に吸収された電磁波は組織細胞温度を上昇させる。

特に血流が少なく放熱性の悪い部位の影響が大きい。

・水晶体→白内障(GHz帯)
・睾丸→生殖機能への影響
　　不妊、胎児奇形

球体の臓器で、血管が少なく、冷却効果の悪い部位

・水晶体は41℃以上が継続すると危険
・水晶体が41℃になるには、138w/kgのエネルギーが必要

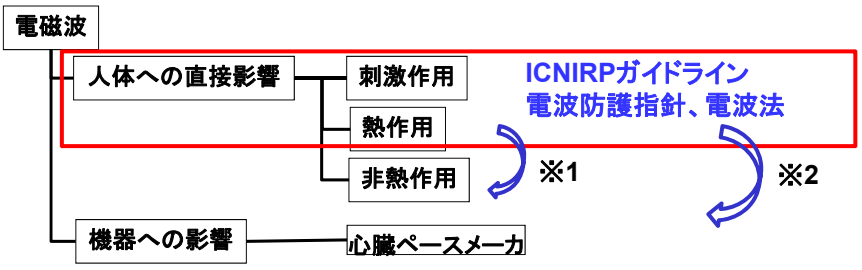
その他の身体への影響

・44℃近辺・・・長時間で低温火傷
・50℃以上・・・短時間で熱傷

・胎児2～3℃　出生時欠損症
・身体作業能力低下

2-1 熱作用 10

■影響を与える機器に対するガイドライン



➢ ICNIRPガイドラインは、急性影響(刺激作用、熱作用)に関する確立された証拠に基づいている。

※1 慢性的なばく露に関しては説得力のある証拠が無い為根拠としていない。
※2 ガイドラインは医療用埋め込み機器への影響を排除するものではない。

【ICNIRP:国際非放射線防護委員会】

2-1 熱作用 11

■ICNIRPガイドライン

※1 SAR: Specific Absorption Rate (電力比吸収率)
体温を1℃上昇させるのに必要なエネルギー(全身SAR 1～4w/kg)

基本制限　～10MHz (10MHz～300GHzは省略)

周波数10GHzまでの時間的に変化する電磁界に対する基本制限

暴露特性	周波数範囲	頭部および体幹の電流密度 ($mA m^{-2}$)rms	全身平均SAR ($W kg^{-1}$)	局所SAR (頭部と体幹) ($W kg^{-1}$)	局所SAR (四肢) ($W kg^{-1}$)
職業的暴露	1Hzまで	40	―	―	―
	1～4Hz	40/f	―	―	―
	4Hz～1kHz	10	―	―	―
	1～100kHz	f/100			
	100kHz～10MHz	f/100	0.4	10	20
	10MHz～10GHz	―	0.4	10	20
公衆の暴露	1Hzまで	8	―	―	―
	1～4Hz	8/f	―	―	―
	4Hz～1kHz	2	―	―	
	1～100kHz	f/500			
	100kHz～10MHz	f/500	0.08	2	4
	10MHz～10GHz	―	0.08	2	4

○1Hz～10MHz　神経系機能への影響を防ぐために、電流密度に対する基本制限が設けられる。

○100kHz～10GHz　全身的熱ストレスおよび過度な局所加熱を防ぐために、SARに対する基本制限が設けられる。

・水晶体が41℃になるには、138w/kgのエネルギーが必要(P9)

2-1 熱作用 12

■SAR許容値適用拡大の動き(総務省)

携帯電話だけでなくスマートホン、タブレット端末等に対応

計測方法(国際標準)

○従来
300MHz～3GHz
・頭部SAR許容値　2W/kg
・四肢SAR許容値　4W/kg

IEC62209-1
頭部形状ファントムを用いた測定

○H25.8公布、H26.4施行　省令
30MHz～6GHz
・頭部SAR許容値　2W/kg
・Body SAR許容値 2W/kg
・四肢SAR許容値　4W/kg

IEC62209-2
平面形状ファントムを用いた測定

2-1 熱作用

13

■ICNIRPガイドライン　　1998年　1Hz～300GHz

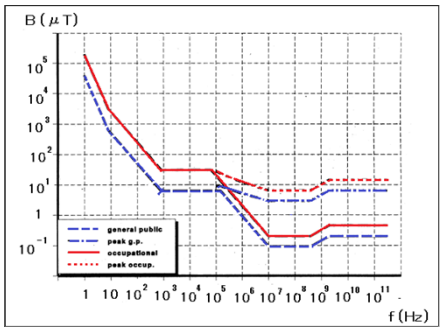
基本制限

⇩

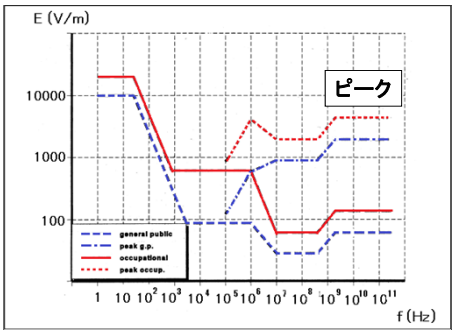
参考レベル

数学モデルや特定周波数での実験結果の外挿により、基本制限から、管理しやすい参考レベルが求まる。

(磁束密度T)



(電界強度　v/m)



職業的ガイドライン

公衆ガイドライン

2-1 熱作用

14

■2010年　1Hz～100KHz見直し※

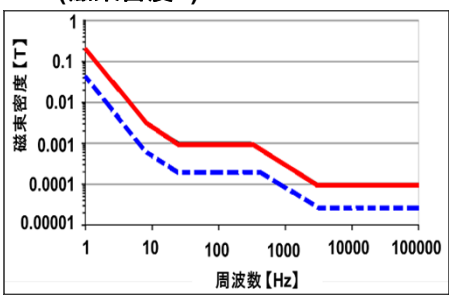
基本制限

⇩

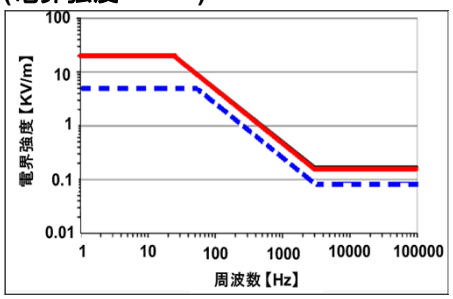
参考レベル

数学モデルや特定周波数での実験結果の外挿により、基本制限から、管理しやすい参考レベルが求まる。

(磁束密度T)



(電界強度　kv/m)



職業的ガイドライン

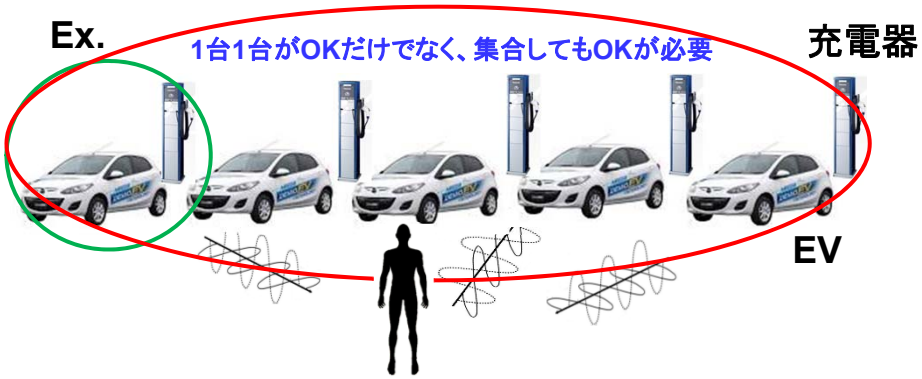
公衆ガイドライン

※　1998年制定の300GHzまでのガイドラインに対する見直し。100kHz以上は改定作業中

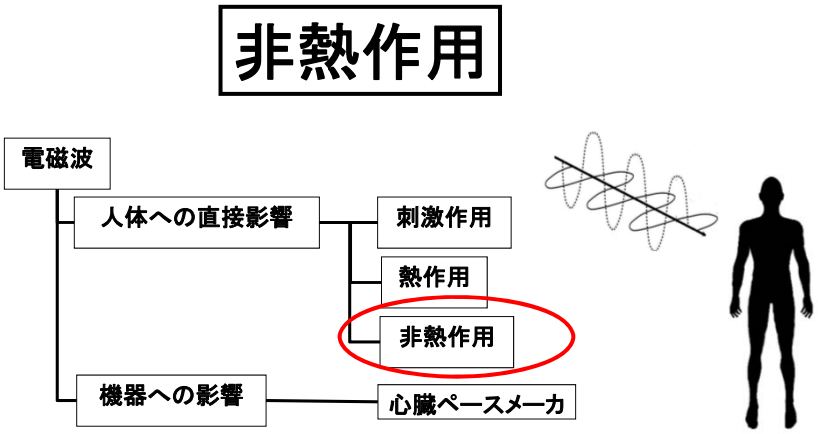
2-1 熱作用 15

・守るべきガイドラインは示されている。
・しかし、どういう条件で評価するかは、パワーエレクトロニクス商品を開発する人が考え なければならない。

単一の機器でICNIRPのガイドラインを守っていても
複数の機器を併用する場合、ガイドラインを上回ることがある。



2-2 非熱作用 16



2-2 非熱作用 17

■非熱作用として疑われている主なもの

・商用周波数　→小児白血病
・高周波(携帯電話)→脳腫瘍
　人の精子への影響

2-2-1 超低周波磁界(商用周波数)の発癌性(小児白血病)

2-2-2 高周波(携帯電話等)の発癌性

2-2-3 電磁波と発癌性

2-2-4 高周波(携帯電話等)の精子への影響

2-2-1. 超低周波磁界(商用周波数)の発癌性 18

■疫学研究結果

・スウェーデン、カロリンス研究所のアールボム教授が多くの疫学研究成果を整理した結果 (オッズ比)
(日本の国立環境研究所の1999年～2002年の小児白血病調査でも、ほぼ同じ結果)

研究		0.1～<0.2μT	0.2～<0.4μT	≧0.4μT
測定値	カナダ	1.29(0.84～1.99)	1.39(0.78～2.48)	1.55(0.65～3.68)
	ドイツ	1.24(0.58～2.64)	1.67(0.48～5.38)	2.00(0.26～15.17)
	NZ	0.67(0.20～2.20)	4症例/0対象	0症例/0対象
	イギリス	0.84(0.57～1.24)	0.98(0.50～1.93)	1.00(0.30～3.37)
	アメリカ	1.11(0.81～1.53)	1.01(0.65～1.57)	3.44(1.24～9.54)
	平均	1.05(0.86～1.28)	1.15(0.85～1.54)	3.44(1.24～9.54)
計算値	デンマーク	2.68(0.24～30.45)	0症例/8対象	2症例/0対象
	フィンランド	0症例/19対象	4.11(0.48～5.22)	6.21(0.68～56.9)
	ノルウェー	1.75(0.65～4.72)	1.06(0.21～5.22)	0症例/10対象
	スウェーデン	1.75(0.48～6.37)	0.57(0.07～4.65)	3.74(1.23～11.37)
	平均	1.58(0.89～3.25)	0.79(0.27～2.28)	3.74(1.10～3.18)
全研究の統合		1.08(0.89～1.31)	1.11(0.84～1.47)	2.00(1.27～3.13)

・測定値: 24時間または48時間にわたっての測定値の平均
・計算値: 住宅と近くの送電線との距離から計算
・()は95%信頼区間を示す。

疫学研究･･･選択バイアス、情報バイアス、交絡因子に地慢位が必要
白血病･･･10万人に3人くらいの発生確率

2-2-1. 超低周波磁界(商用周波数)の発癌性 19

オッズ

ある事象が起きる確率(p)と起きない確率(1-p)の比
Odds=p/(1-p)

A群で、ある事象が起きる確率=p
B群で、ある事象が起きる活率=q

Odds比=$\frac{p/(1-P)}{q/(1-q)}$

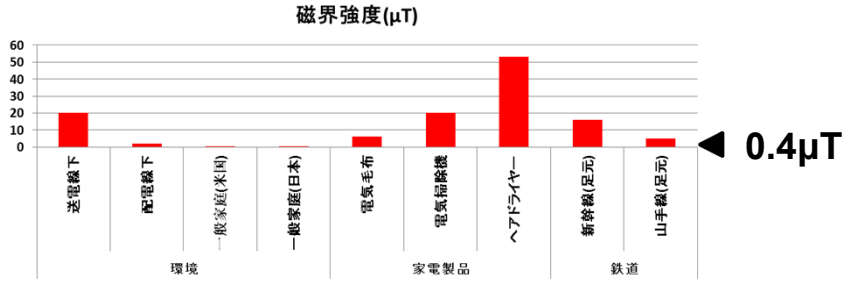
A群:100,000人に20人が発症
B群:100,000人に10人が発症

Odds比=$\frac{20/(100000-20)}{10/(100000-10)}$=2.04

2-2-1. 超低周波磁界(商用周波数)の発癌性 20

■一般環境の商用周波数磁界強度

		磁界強度(μT)	備考
環境	送電線下	20	
	配電線下	2	
	一般家庭(米国)	0.29以下	999調査中95%の家庭
	一般家庭(日本)	0.2以下	90%が0.2μT以下、99%が1μT以下
家電製品	電気毛布	4～6	人体との距離 2.5cm
	電気掃除機	2～20	人体との距離 30cm
	ヘアドライヤー	2.5～53	人体との距離 3cm
鉄道	新幹線(足元)	約16	
	山手線(足元)	約5	



◀ 0.4μT

2-2-1. 超低周波磁界(商用周波数)の発癌性 21

■動物実験研究結果

・疫学的には超低周波磁界と小児白血病の相関が示唆されているが、発生メカニズムを見つけ出すことはできなかった。

送電線の一般家庭への影響は数μT→約1/1,000

・超低周波磁界では、5mT以下では、染色体異常や姉妹染色体交換の頻度が上昇することは無い。

・500mT以上の超低周波磁界で、染色体異常や姉妹染色体交換の頻度が上昇する報告があるが、上昇メカニズムは不明。

姉妹染色体: DNA複製後にできる、同じ遺伝情報をもつ2本の染色分体のこと

姉妹染色体交換:DNAが損傷を持ったまま複製をしたときに生じる新生姉妹 染色分体間の乗り換えの現象

2-2-1. 超低周波磁界(商用周波数)の発癌性 22

■WHO見解

疫学研究の結果から、電磁界が小児白血病のリスクを高める可能性は否定できないが、因果関係の科学的証拠はとても弱く、長期的な影響が存在するとは言えない。

■WHO提言

1.電磁界ばく露の健康影響に関する研究を推進すべき。

2.説明会や意見交換会を行う。

3.新しい電力設備建設や電気製品設計では、電磁波のばく露を低減するために低費用な方法を探索しても良い。

2-2-2. 高周波(携帯電話等)の発癌性 23

■疫学研究結果

①インターフォン研究結果(2010年)

携帯電話の使用時間		症例	対照	オッズ(比)	95%信頼性区間
不使用者		1042	1078	1	
使用者		1666	1894	0.81	(0.70～0.94)
累積使用時間	5時間未満	141	197	0.7	(0.52～0.94)
	5～12.9時間	145	198	0.71	(0.53～0.94)
	13～30.9時間	189	179	1.05	(0.79～1.38)
	31～60.9時間	144	196	0.74	(0.55～0.98)
	61～114.9時間	171	193	0.81	(0.61～1.08)
	115～199.9時間	160	194	0.73	(0.54～0.98)
	200～359.9時間	158	194	0.76	(0.57～1.01)
	360～734.9時間	189	205	0.82	(0.62～1.08)
	735～1639.9時間	159	184	0.71	(0.53～0.96)
	1640時間以上	210	154	1.4	(1.03～1.89)
側頭葉に腫瘍ができた症例に限定					
不使用者		311	319	1	
1640時間以上		78	47	1.87	(1.08～3.22)
通話する側で腫瘍ができた症例に限定					
不使用者		773	838	1	
1640時間以上		100	62	1.96	(1.22～3.16)

【周波数】
700MHz～2GHz

【インターフォン研究】
IARCがコーディネータとなり日本を含め13ヵ国で行った世界規模研究

・欧州5ヵ国調査
携帯電話を10年以上使用すると神経膠腫が約40%増大。

・日本調査
携帯電話使用と聴神経鞘腫との間に有意な関連性は認められない

- 累積使用時間1640時間以上のヘビーユーザーで、神経膠腫リスクが高まっているがバイアス誤差の可能性かあり、強い結論は出せない。

2-2-2. 高周波(携帯電話等)の発癌性 24

■疫学研究結果

②ハーデル研究結果(2011年)

携帯電話の使用の有無		症例	対照	オッズ(比)	95%信頼性区間
使用者		529	963	1.3	(1.1～1.6)
累積使用時間	1～1000時間	427	879	1.2	(1.03～1.5)
	1001～2000時間	44	51	1.8	(1.2～2.8)
	2000時間以上	58	33	3.2	(2.0～5.1)
使用開始からの年数	1～5年	250	571	1.1	(0.9～1.4)
	5～10年	156	289	1.3	(0.99～1.6)
	10年以上	123	106	2.5	(1.8～3.3)
使用開始時の年齢(全ての悪性腫瘍)	20歳以下	19	41	2.9	(1.3～6.0)
	20～49歳	347	581	1.3	(1.1～1.6)
	50歳以上	207	368	1.2	(0.998～1.5)

【ハーデル研究】
スウェーデン・オレブロ大学病院のレナート・ハーデル博士たちの研究
スウェーデン国内で、がん登録センターに登録された20歳から80歳の脳腫瘍患者をベースにした研究(スウェーデンは法律でがんは届け出なければならず、データが集めやすい。)

- 使用者と非使用者では、神経膠腫のリスクで1.3倍。
- さらに、使用時間が増えるほどリスクが高まり、累積使用時間が2000時間以上ではリスクは3.2倍に高まる。

2-2-2. 高周波(携帯電話等)の発癌性 25

■動物実験研究結果

IARC作業部会

調査内容	全件数	陽性結果
2年間の長期発がん試験	7件	1件
腫瘍が出来やすく遺伝子改変した試験	12件	2件
発がんプロモーション試験	18件	1件
別の発がん物質との相互作用試験	6件	4件

- 以上よりIARCは、動物実験でも「限定的証拠あり」と判定

(一部の委員からは、証拠不十分という意見も出されたが、上記評価となった。)

2-2-2. 高周波(携帯電話等)の発癌性 26

■WHO見解

・高周波電磁界により脳腫瘍にかかるリスクが限定的だが認められる。

・コーヒーの摂取やガソリンの排ガス吸引などと同じレベルの証拠の強さであり、因果関係が立証されている喫煙などと比べると不確かな部分が多い。

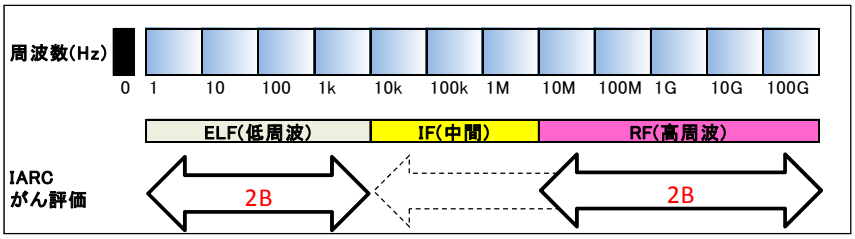
■IARC見解

・携帯電話を使うと癌になるということではなく、発癌性を完全に否定できないということである。

・携帯電話を長時間使うことについて更に研究が必要。

2-2-3 電磁波と発癌性 27

2011年、国際がん研究機関(IARC)評価



グループ	発がん性	物質
1	発がん性がある	カドミュウム、ダイオキシン、たばこ、アルコール アスベスト、電離放射線、紫外線　等　109例
2A	おそらく発がん性がある	PCB、ホルムアルデヒド、 ディーゼルエンジン排ガス　等　65例
2B	発がん性があるかもしれない	クロロホルム、鉛、コーヒー、ガソリンエンジン排ガス 漬物、超低周波磁界、無線周波数電磁界　等　275例
3	発がん性を分類できない	カフェイン、原油、水銀、お茶、蛍光灯、 超低周波電界、静磁界、静電界　等　504例
4	おそらく発がん性はない	カプロラクタム(ナイロンの原料)　1例

2-2-3 電磁波と発癌性 28

■各国の対応状況

		制定年	電界		磁界	
			kv/m	区分	μT	区分
国際レベル	ICNIRP	2010改訂	5 (50Hz) 4.17(60Hz)	ガイドライン	200 (50Hz) 200 (60Hz)	ガイドライン
	IEEE	2002	5	規格	904	規格
国レベル	日本	1976	3	規制	検討中	
	韓国	1988	3.5	告示	83.3 (60Hz)	告示
	米国		―	―	―	―
	ドイツ	1997	5	規制	100 (50Hz)	規制
	スイス	2000	5	規制	100 (50Hz)	規制
	フランス	2001	5	規制	100 (50Hz)	規制
	スウエーデン	2002	5	勧告	100 (50Hz)	勧告
	イタリア	2003	5	規制	100 (50Hz)	規制
	英国	2004	5	ガイドライン	100 (50Hz)	ガイドライン

・スイス、イタリアは本規格以外に、住宅、病院、学校等に対して政策に基づいた磁界の放出制限値を設けている。
スイス （1μT)、タイリア （3μT)
・米国は国レベルの規制は無いが、州によっては規制を設けている。

【出典：電気学会「新・電気の暮らしと健康不安】

2-2-3 電磁波と発癌性 29

➢ 様々な物質で発癌性の可能性がある。

アルコール飲料	体内でアセトアルデヒド(発がん物質)に分解される。 口腔がん、咽頭がん、食道がん、肝がん、大腸がん発症の 可能性がある。(WHO)
紫外線	皮膚がん発症の可能性がある。(WHO)
コーヒー	一部のがん発症の可能性がある。(WHO)
漬物	塩分の多い漬物をハツカネズミに食べさせ続けると胃がんで死亡。

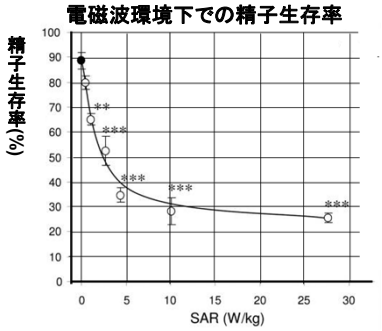
・電磁波による発癌性は、まだ明確になっていない。
仮に、あったとしても他の日常的に摂取している物と同等以下である。
・現時点、パワーエレクトロニクス商品開発者は、発癌性を考慮して開発を行う必要は無い。

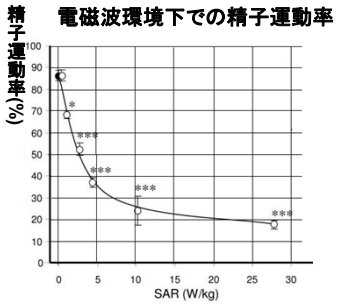
2-2-4. 高周波(携帯電話等)の精子への影響 30

■携帯電話の精子への影響(IARC調査対象外)

①オーストラリア・ニューカッスル大学　Jhon Aitken教授の研究
【PLoS(パブリックライブラリ　オブ　サイエンス) 2009.7.31】

・学生22人の精子に直接電磁波を16時間照射して影響を観察
・電磁波の強さ(SAR 局所吸収率)に応じて、精子生存率、精子運動率とも低下する。





※ICNIRP推奨SAR上限=2w/kg　※携帯電話: 0.5～1w/kgが大半を占める。

2-2-4. 高周波(携帯電話等)の精子への影響 31

■携帯電話の精子への影響(IARC調査対象外)

②アメリカ・オハイオ州　クリーブランドクリニックの生殖研究センター所長
アシュック・アガルワル教授他の研究

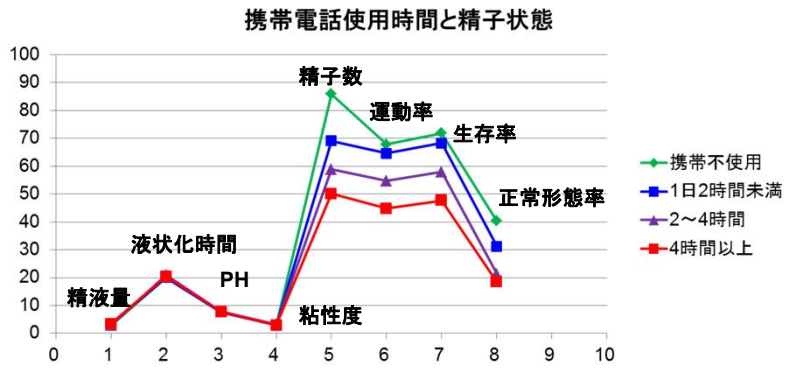
米国の学会「American Society for Reproductive Medicine」発行
学会誌「Fertility and Sterility」2007年5月号

・不妊治療のため来院した男性361人の調査

		携帯電話使用時間			
		携帯不使用	1日2時間未満	2～4時間	4時間以上
1	精液量	2.86±1.67	3.16±1.62	2.83±1.40	3.37±1.80
2	液状化時間(分)	20.00±3.58	20.04±3.18	20.85±3.56	20.39±4.11
3	PH	7.68±0.20	7.67±0.16	7.76±0.19	7.78±0.16
4	粘性度	3.00±1.01	2.98±1.03	3.11±1.21	2.95±1.14
5	精子数(×100万/mL)	85.89±35.56	69.03±40.25	58.87±51.92	50.03±41.92
6	運動率 (%)	67.80±6.016	64.57±8.47	54.72±10.97	44.81±16.30
7	生存率 (%)	71.77±6.75	68.21±8.65	57.95±11.28	47.61±16.67
8	正常形態率	40.32±13.06	31.24±12.24	21.36±10.12	18.40±10.38

2-2-4. 高周波(携帯電話等)の精子への影響 32

■携帯電話の精子への影響(IARC調査対象外)



- 精子数、運動率、生存率、正常形態率は、携帯電話の使用時間が長いほど低下する。
- 電磁波の精子への影響に関しては、まだ十分論議されていない。

2-2-4. 高周波(携帯電話等)の精子への影響 33

■欧州ヒト生殖・胎生学会議前会長、オランダ　マーストリヒト大学病院のハンス・エバース教授

「この結果は興味深いが、決定的というには程遠い。この研究は可能性のある要因を考慮していないため、結果が歪められているおそれがある。精子の数に影響する要因であるストレスレベルや職業、喫煙の有無について分析していない。」

■英国放射線防護庁の広報担当、マイケル・クラーク博士

「今後注意深く見守る必要があるでしょう。しかし男性の生殖能力の減退は携帯が普及する以前から数十年間続いるので、様々な原因が関与していると考えられる。」

■世界保健機構

「さらなる調査が必要。いかなる最近の研究も携帯の電磁波が健康を害すると結論づけていない。」

2-2-4. 高周波(携帯電話等)の精子への影響 34

■WHO見解

・携帯電話使用を原因とするいかなる健康影響も立証されていない。

(今後、発癌以外の健康影響を含めた総合評価を行う予定)

■専門家見解

・高周波電磁波の精子への影響は、根拠が不十分である。実験の妥当性、再現性に関して外部の専門家による検証が必要。

(2000年5月25日ネイチャー誌に掲載されたボラメイ教授　の論文「電磁波が線虫の細胞に害を与えた」の事例→その後の調査で、米国立がん研究所や 全米科学アカデミーは、電磁波による影響を証明する根拠は見つからないという結論を出したように一つの発表だけで、判断することは妥当ではない。)

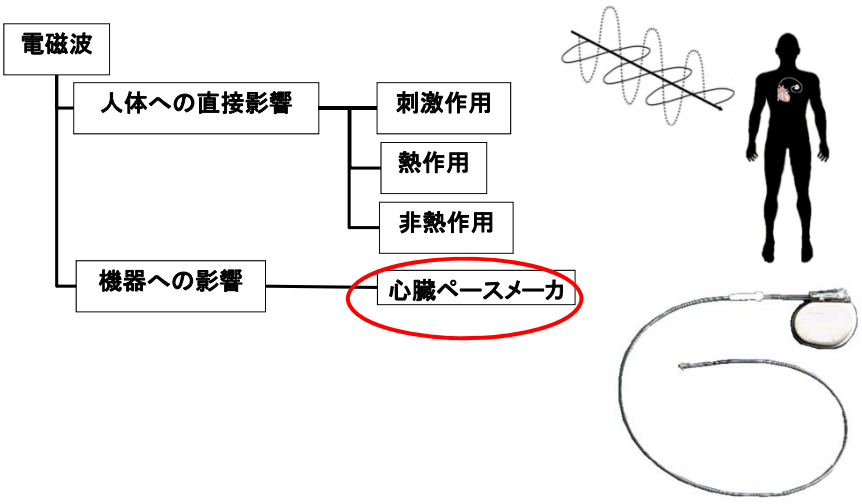
・更に、関連があるとしても、それが人間の種の保存に影響することまで、検証する必要がある。

2-2-4. 高周波(携帯電話等)の精子への影響 35

・電磁波による精子への影響は、まだ明確になっていない。
再現性のある実験により、影響が確認されていない。
・現時点、パワーエレクトロニクス商品開発者は、精子への
影響を考慮して開発を行う必要は無い。

2-3 心臓ペースメーカへの影響 36

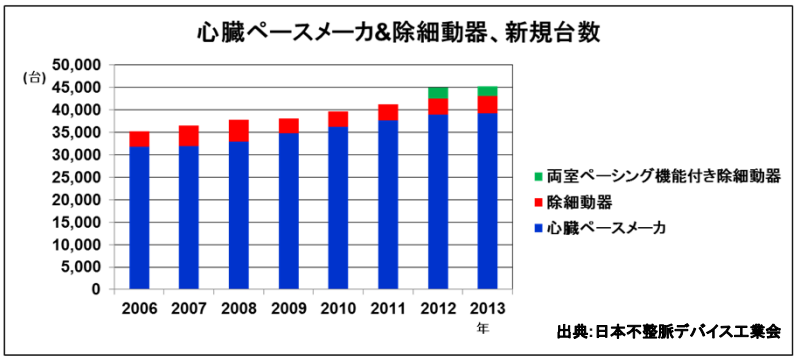
■心臓ペースメーカー(埋め込み型医療機器)への影響



2-3 心臓ペースメーカへの影響

■植え込み型心臓ペースメーカ、除細動器の装着者数

・年間新規に3万台(2006年)～4万台(2013年)新規装着されている。



・2002年に装着者数が30～40万人と推定されており、現在は約100万人と推定される。 (約100人に1人)

2-3 心臓ペースメーカへの影響

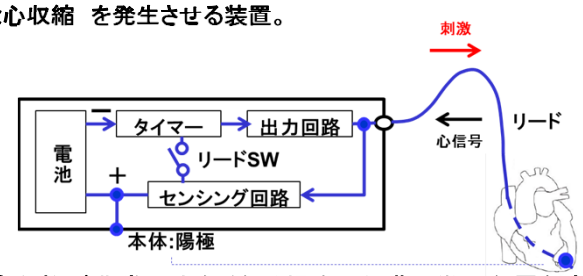
■不整脈デバイスの種類

種類	機能	使用開始時期(日本)
ペースメーカ	・脈拍が遅くなると脳へ送られる血液が減り失神等を引き起こす。 ・脈が遅くなると電気信号を送って心臓を収縮させる。 (Implantable Pacemaker)	1950年頃～
除細動器	・心室頻拍や心室細動などの致死的不整脈を止め心臓の働きを回復する。 (ICD:Implantable Cardioverter-Defibrillator)	1990年～
両心室ペースメーカ	・右心室と左心室両方のペーシングを行うことで寝室の壁運動のゆがみを改善する。 (CRT:Cariac resyncronization teracy) CRT-P (ペースメーカ機能併設) CRT-D(除細動器機能併設)	CRT-P 2004年～ CRT-D 2006年～

2-3 心臓ペースメーカへの影響 39

■ペースメーカ(Pacemaker)

・除脈(通常より脈が遅い)になると脳へ必要な血液が送れず「めまい」「失神」等を引き起こす。
・機能を喪失した心臓の刺激伝達系に代わって心筋を刺激し、必要な心収縮　を発生させる装置。



・心臓拍動数が非常に少なくなる場合、心臓に微小な電気刺激パルスを与え、心臓拍動数を正常にする。
・自己の心臓拍動数が増加すると刺激パルスの発生を抑制する機構がある。(デマンド機構)

脈拍の遅い病気を持った患者さんに対応

2-3 心臓ペースメーカへの影響 40

■除細動器(Cardioverter-Defibrillator)

・心室頻拍や心室細動などの致死的不整脈を止め、心臓の働きを回復する装置。
・抗頻拍ペーシング・・・・心室頻拍に心臓ペースメーカと同じような刺激を与え、治療する。
・カルディオバージョン・・上記で治療しないとき、自己心拍に同期して、軽めの電気ショックを与える。
・除細動 ・・・・・・・・・・・・・・心室細動時、最大限の電気ショックを与える。

致死的重症不整脈(心室頻拍、心室細動等)の患者さんに対応

・ペーシングは、不整脈より少し速く心臓を人工的に刺激する方法。
・速い心室頻拍や心室細動がペーシングでは止まらない場合、電気ショックを行う。電気ショックを行う場合、電池を充電して放出するまで10秒近くかかり状況によってはこの間に失神することもある。

2-3 心臓ペースメーカへの影響 41

■両心室ペースメーカ(Cardiac resyncronization therapy)

・右心室と左心室の両心室のペーシングを行なうことで心室の壁運動のゆがみを 改善する。

・CRT の治療の要点は、心室に2 点(もしくは3,4 点)のポイントからペーシ ング刺激をすることで、心室の収縮のタイミングをそろえる

心臓の壁の動きが悪く(心不全)バラバラで、
うまく体に血液を送り出せない患者さんに対応。

・CRTの機能を持つペースメーカ→CRT-P
・ICDの機能を併せ持つCRT→CRT-D

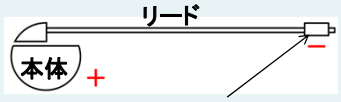
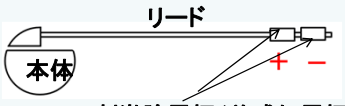
■新しい機能開発

・ワイヤレス充電
・ワイヤレスによるリードの削減
・通信機能を付け通院しなくても管理

ペースメーカもどんどん進化している。

2-3 心臓ペースメーカへの影響 42

■心臓ペースメーカのリード線

	構造	メリット
単極		・構造が簡単で、丈夫で安価 ・線径が細い
双極		・心臓以外の骨格筋や横隔膜を刺激しない。 ・電磁波の影響を受けにくい。

2-3 心臓ペースメーカへの影響 43

■電磁波は心臓ペースメーカ等の植え込み医療機器へ影響を及ぼす。

①電波による影響

携帯電話、通信機器の電波が
心臓ペースメーカと外部との通信用
テレメトリコイルに電圧を誘起し誤作動させる。

【出典:VISHAY社カタログ】

MICS(医療用インプラント通信システム) 総務省2005年制定

外部の通信機器と通信により、
生体信号の受信、ペースメーカ
の設定変更を行う。

周波数 402MHz～405MHz
帯域幅 300kHz
電力 25μW以下

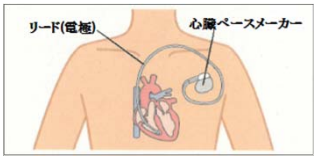
周波数
800MHz～2GHz

2-3 心臓ペースメーカへの影響 44

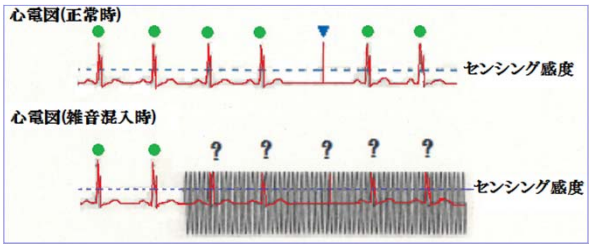
②人体が高電圧交流電界に曝された場合、人体内に誘導電流が生じ、これをペースメーカの電子回路が、拍動と誤検知することで誤動作が生じる。

③交流磁界による影響

電磁調理器、盗難防止機器、電気自動車用充電器の磁界がペースメーカのリードに電圧を誘起し、誤作動させる。



【2012.11.01電子情報通信学会
USCIホールディング㈱豊島氏講演より】



・EMIは一過性に留まらず、センシング感度をイニシャライズするCaseも報告されている。

2-3 心臓ペースメーカへの影響 45

■電磁波の心臓ペースメーカへの影響

➢ 高周波利用機器で事故は起きている。

①2001年、IH電気炊飯器で心臓ペースメーカの設定がリセット
⇒厚労省が注意を喚起

②2002年～2003年、総務省の調査で盗難防止装置のゲート
から25cm付近で立ち止まると心臓ペースメーカの設定がリセット
⇒放置すると病状を悪化させる。

③1999年、FDA(米国食品医薬局)
「過去10年間で、盗難防止装置での異常が44件報告され
うち18件は、失神または胸痛」と発表。

2-3 心臓ペースメーカへの影響 46

■盗難防止装置(Electronic Article Surveillance)

方式	周波数
電波方式	4.6MHz～10.5MHz
磁気方式	200Hz～14kHz
音響磁気方式※1	58kHz～60kHz
自鳴方式※2	22kHz～35.5kHz、58kHz、8.2kHz

※1アモルファスの薄板で構成されたタグが電波に共振し、微弱電波を発生する。
この電波を検出する。
※2 ケートから発信する電波を受信して、タグが音響を発生する。
また、タグを外すと音響を発生する。

2-3 心臓ペースメーカへの影響 47

■盗難防止装置が心臓ペースメーカに及ぼす影響

(2004年7月、厚労省「医療品・医療用器具等安全性情報」)

○植え込み型心臓ペースメーカの事例　28台

○盗難防止装置　電波式15台、磁気式14台、音響磁気式3台、自鳴式7台

○試験モード　1:ゲート中央通過　　2:中央で回転ゲートから20cm以上

3:中央で回転ゲートに接触　　4:ゲートに外から接近

○結果

	試験1	試験2	試験3	試験4
干渉率	10.20%	38.80%	46.10%	−
最大干渉距離	275cm	−	−	280cm

・試験2,3でプログラムがリセットされたケースがあった。

2-3 心臓ペースメーカへの影響 48

■日本不整脈デバイス工業会EMC分科会長(聴取結果)

①心臓ペースメーカには下記の規格がある。
但し、外部から電磁界が加わった場合と相関を取るのが困難。

・ISO14708-2 Cardiac Pacemakers
・AAMI PC69-2000
・植え込み型心臓ペースメーカ等承認基準(厚労省)

②電磁波を出す商品が心臓ペースメーカに影響を及ぼさないかの確認は、
商品と心臓ペースメーカの組み合わせ評価が必要。

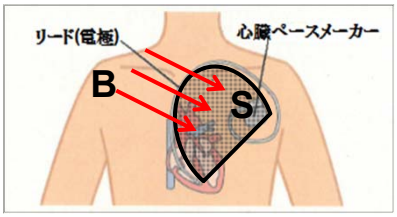
(ペースメーカ　約100万円/個　周辺機器約 200万円)

・流通している心臓ペースメーカ(約30種)との組み合わせ評価には
億円単位の費用が必要

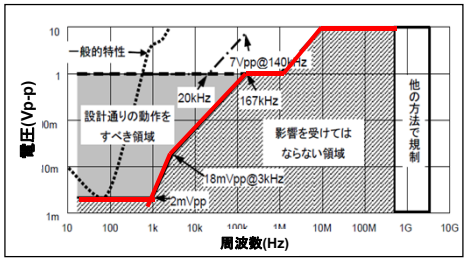
・携帯電話の評価を総務省が実施している(限定的)
・電動車両や充電器では、一部実施されている。

2-3 心臓ペースメーカへの影響 49

■ペースメーカーのEMC要件から磁界に対するガイドラインが求められないか？



<



【ループに誘起される電圧】
$V=-S\cdot d(B\sin\omega t)/dt$

【ISO14708 ペースメーカのEMC要件】

・遠方界(発生源が遠方にあり、均一磁界の場合)は相関が取れるが、近傍界(発生源が接近している場合)は相関が取れない。
・目安レベルとしては使える。

2-3 心臓ペースメーカへの影響 50 50

■心臓ペースメーカー安全レベル

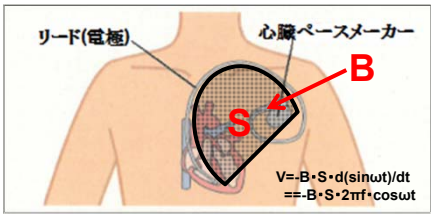
○WHO
・明確な基準は、存在しない。
・電界は約2.5～5kV/m以下
磁界は約100～200μT以下であれば、誤作動しない。
【電気学会発行「新・電気の暮らしと健康不安】

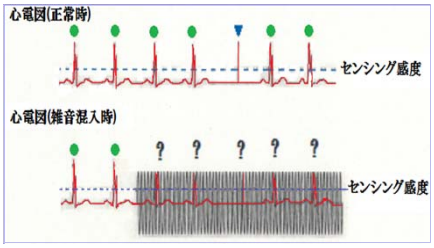
○グラーツ工科大　N.Leitegeb 教授
「心臓ペースメーカでは、10μTといった低い磁界でも誤作動するという実験結果がある。」　(2012.10.29面談)

○USCIホールディング㈱　豊島氏
・心臓ペースメーカの心電位検出レベルの最大感度
国内　0.18mV　海外　0.1mV
・リードが作るループ面積　573cm²に20μT(@50Hz)の磁界が加わったとき、心臓ペースメーカには1mVの電圧が誘起される。
(2012.11.01　電子情報通信学会　発表)
→2μTでも誤作動する可能性がある。

2-3 心臓ペースメーカへの影響 51

■最も厳しい条件での安全レベル





・リードが作るループ面積
≒573cm²
・磁束による誘起電圧
20μT 50Hz→1mV

・心電位検出レベル 最低値
0.18mV(国内)
0.1mV(海外)

・2μT以上で誤動作の可能性

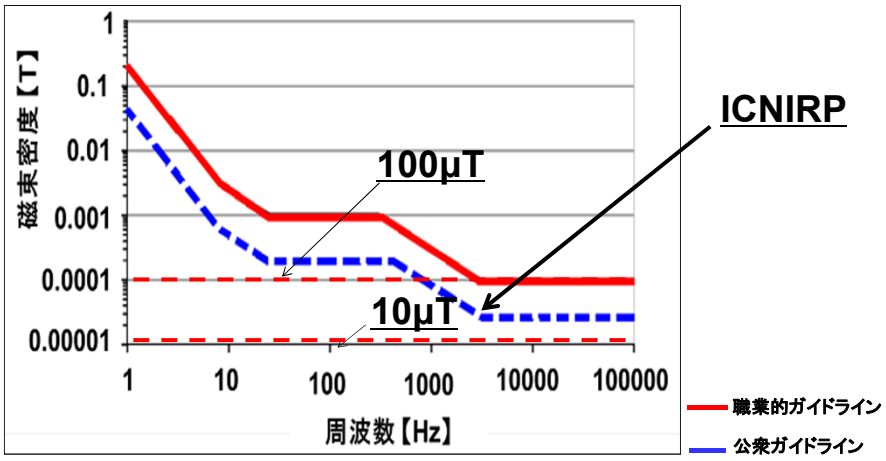
【2012.11.01電子情報通信学会
USCIホールディング(株)豊島氏講演より】

遠方界の場合、上記の通り。
近傍界では2μT→0.1mV誘起電圧の相関が取りにくいが、この程度の磁界で誤作動するリスクがある。

2-3 心臓ペースメーカへの影響 52 52

■ 刺激作用、熱作用に関する ICNIRPガイドラインとの関係

➢ ICNIRPのガイドラインでは、ペースメーカの誤動作は防げない。



2-3 心臓ペースメーカへの影響 53

■安全レベルに対する余裕度

①リードが作るループ面積

・実際の患者さん=119～366cm²(平均199cm²)
・リードが作りうる最大値=573cm²

②ペースメーカの最大感度

・臨床的な最大感度は0.18mVが一般的。
0.1mVという感度は心房用であり、心房用の場合、ループは
心室用(573cm²)の1/3程度になる。

(最大感度は、心房用0.1mV、心室用0.5mV
心内波高値低減が発生するような場合は、最高感度で使用する。)

③単極リードと双極リード

・心臓ペースメーカが使われだした当初は、双極リードは太く
あまり使われなかった。現在は技術が進み双極が主流。
双極は外部磁界に強い。
(但し、現在でも単極は使われている。双極も絶縁不良や断線時は単極モードで作動する。)

2-3 心臓ペースメーカへの影響 54

■パワーエレクトロニクス開発者として留意すべきこと

・心臓ペースメーカを用い、開発製品が誤作動を及ぼさないか評価する
のがベスト。
しかし、数千万円～億円単位の費用が発生するため　一般企業では困難。

①心臓ペースメーカに影響があると評価された製品を開発、
製造する場合は、取扱説明書で警告する。
ex.　スマートキーレス, EV・PHV充電ケーブル,　充電器

②新しい製品を開発製造する場合は、漏洩する電磁波を計測し、
リスクがあると思われる場合は取扱説明書で警告する。

③実害が出ないよう漏洩電磁波を既存商品同等以下に抑制
する。
ex. 家電(IH, ドライヤー、電気毛布)、自動車部品(上記)を上回らない
よう配慮する。

2-3 心臓ペースメーカへの影響 55

■心臓ペースメーカの新しい動き

・ワイヤレス給電

ペースメーカは6～8年で電池交換が必要
→交換時期の延長

・リード線の削減(体内でのワイヤレス給電)

右心室に加え左心室へリードを通す負担大
→体内に埋め込まれたWireless Cardiac Stimulation systemにより右心室の心拍を検知し超音波で左心室に埋め込まれた電極へエネルギーを送り、電気的刺激に変換することで、リードを削減する。

・ペースメーカに通信機能を設ける

患者は3～4ヶ月毎に検診が必要
→日々の状態を病院へ送信し管理

ペースメーカも開発が進み新しいものが生まれている。
対象が変化していることに注意が必要。

3. 家電製品の磁界レベル 56

■低周波磁界測定器と計測

メーカ	日置
型式	FTFT3470-50
センサ	100cm²磁界センサ 3cm²磁界センサ
測定軸	3軸
周波数	10～400kHz

◎ICNIRPガイドラインの相対強度測定を実現

◎IEC/EN62233規格Iに基づく計測が可能

IH

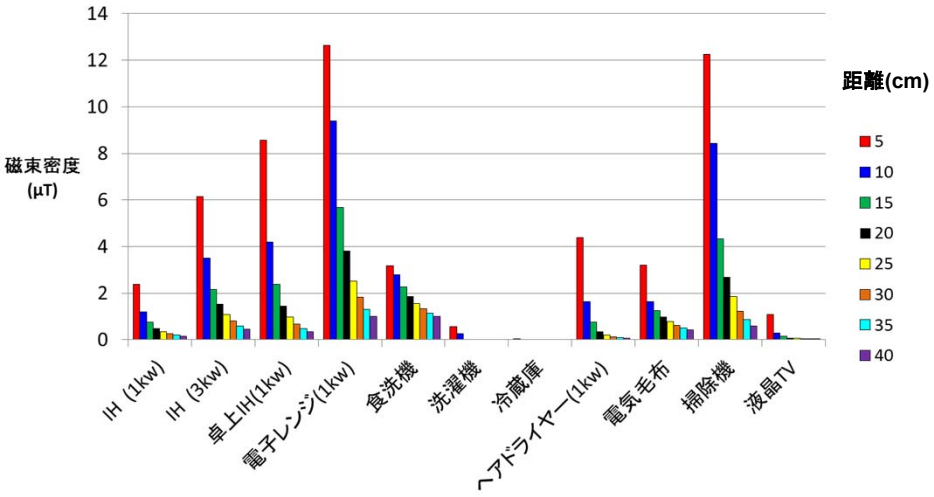
食洗機

卓上IH

ヘアドライヤー

3. 家電製品の磁界レベル 57

■家電製品の磁界レベル(計測結果事例)



※IHはキッチン台端面からの距離で計測

【測定レンジ　10Hz～400kHz】

3. 家電製品の磁界レベル 58

■電気毛布・・・密着すると磁束密度は高くなる

3.39μT　　12.94μT

電気毛布は体に密着して用いるものであり、使用条件を考えれば、
患者へ警告が必要なのではないか?

3. 家電製品の磁界レベル 59

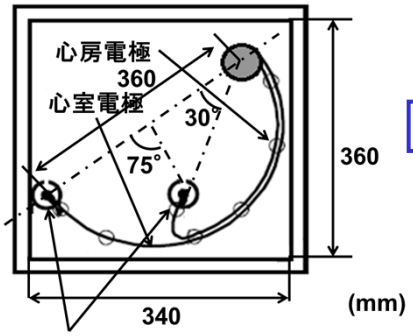
電気毛布は古くからあり、初期の心臓ペースメーカは最大感度が1mVであり、問題なかった。
0.1mVまで感度が上がったおり、再検討されたが、以下より、特別な対応は取られなかった。

・0.1mVが臨床で使われることはほとんどない。
・0.1mVは心房用で、この場合ループ面積は1/3になる。
・実際の評価でも問題は出なかった。

3. 家電製品の磁界レベル 60

■家電からの漏洩磁界が心臓ペースメーカのリードに誘起する電圧

・正規は下図の様な人体ファントムに心臓ペースメーカを装着して評価する必要があるが、心臓ペースメーカは入手が難しい。



ペーシングパルス検出
疑似心電位注入兼用電極

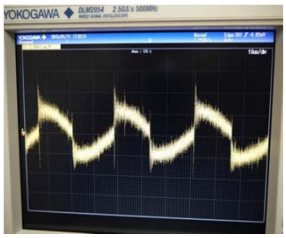
・簡易的に1ターンのサーチコイルを作成し、漏洩磁界による誘起電圧を計測した。

人体抵抗相当の820Ωで短絡
誘起電圧をオシロで観測

3. 家電製品の磁界レベル 61

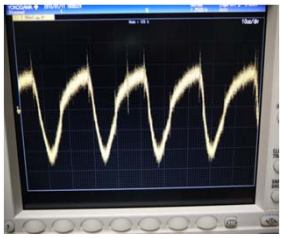
IH(3kw)

(2mV/div, 10μsec/div)



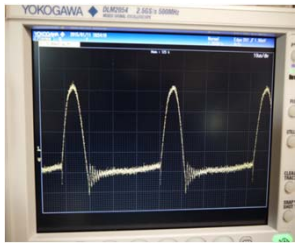
電子レンジ(1kw)

(2mV/div, 10μsec/div)



卓上IH(3kw)

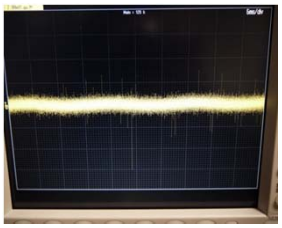
(5mV/div, 10μsec/div)



※比較的密着した状態で計測しており、心臓位置では、もっと低い値を示す。

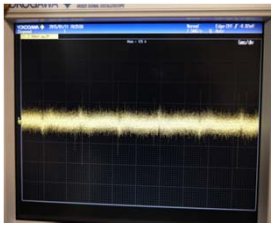
3. 家電製品の磁界レベル 62

ヘヤドライヤー(1kw)



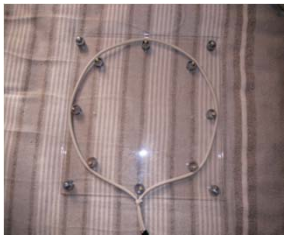
(2mV/div, 5msec/div)

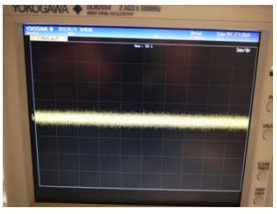
電気掃除機



(2mV/div, 5msec/div)

電気毛布



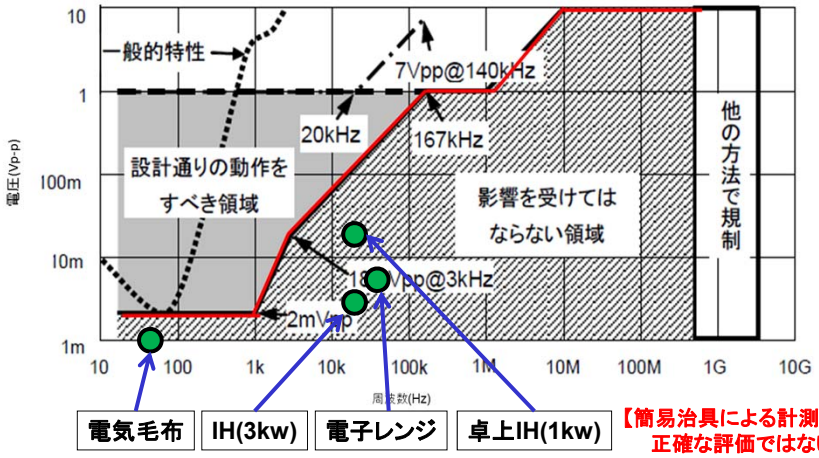


(2mV/div, 5msec/div)

3. 家電製品の磁界レベル 63

■心臓ペースメーカのEMC規格(ISO14708)との関係

・簡易的に計測した結果であるが、問題は無さそうである。



【簡易治具による計測であり、正確な評価ではない。】

4. 電動車両の磁界レベル 64

■自動車もICNIRPガイドラインを順守する必要がある。

①車両
計測条件の規定(自技会で策定中)
・動作条件(加速、定常走行、減速、充電)
・計測ポイント

②充電システム
・普通充電器
・急速充電器

③非接触充電システム
順守エリア(世界的な標準策定中)
・送受信アンテナ間は、基準以上となる。
・車の側面で順守。

4. 電動車両の磁界レベル 65

■低周波磁界測定器仕様

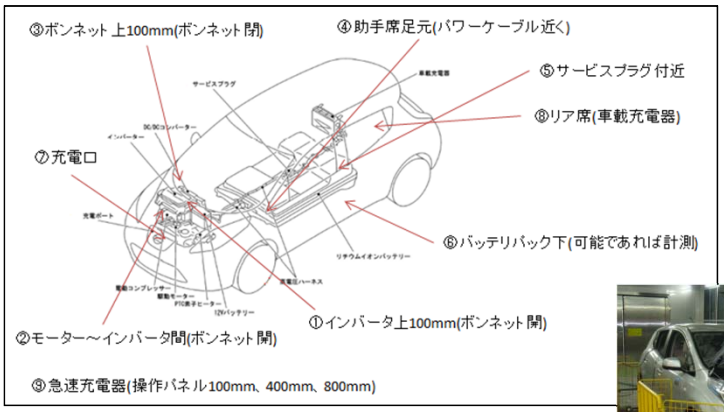
メーカ	narda
型式	ELT-400型
センサ	コイル(100cm²)
測定軸	3軸
周波数	1～400kHz
レンジ	320μT、8mT、80mT
分解能	1nT

◎ICNIRPガイドラインの相対強度測定を実現

◎EN50366、IEC62233規格準拠

4. 電動車両の磁界レベル 66

（1）日産　LEAF

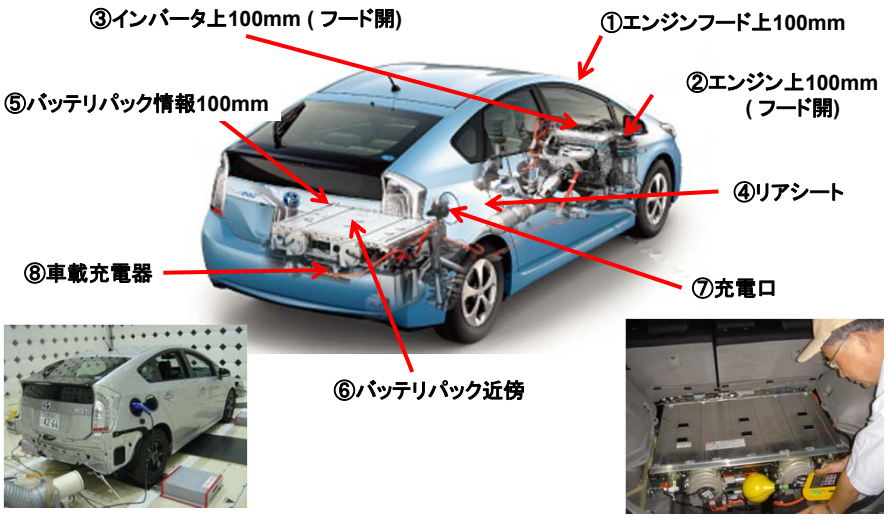


(急速充電器は日産以外のメーカ)

4. 電動車両の磁界レベル 67

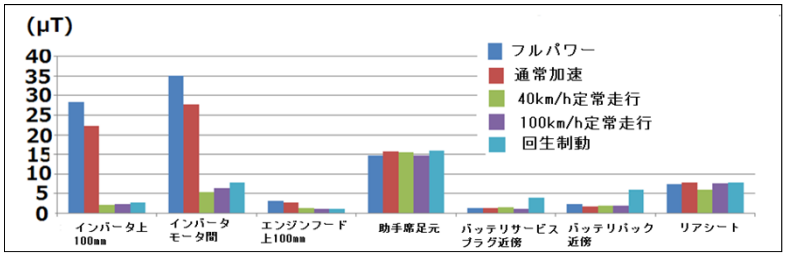
（2）Toyota Prius PHV

測定ポイント

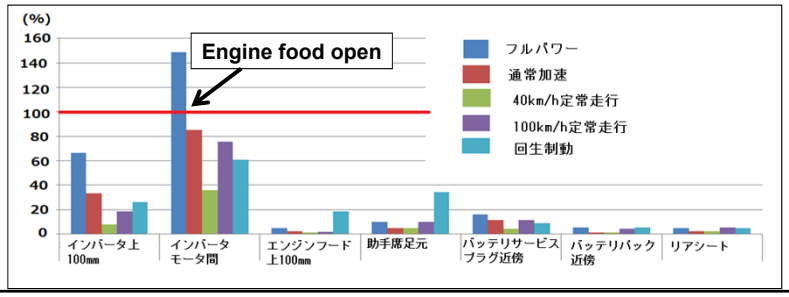


4-1走行中の磁界レベル(LEAF) 68

■磁界強度

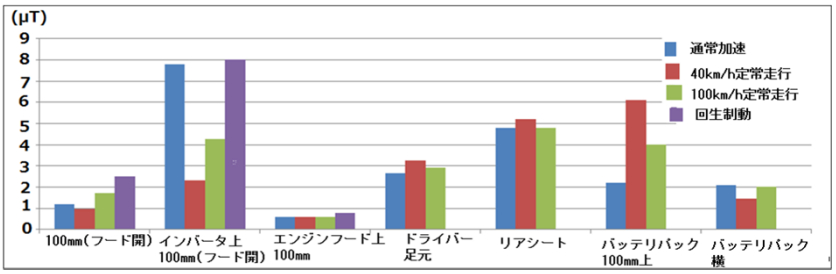


■ICNIRP % (1998 ガイドライン)

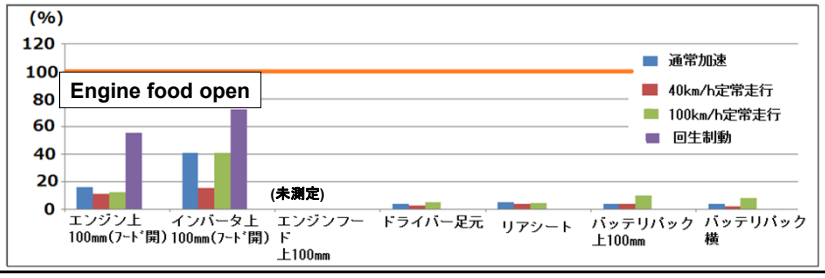


4-1 走行中の磁界レベル(プリウスPHV) 69

■磁界強度(EV 走行)

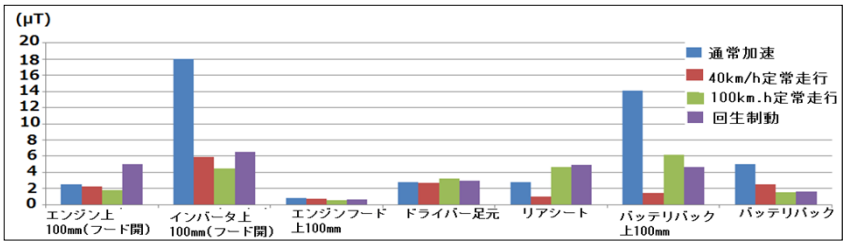


■ICNIRP %-1998 ガイドライン(EV 走行)

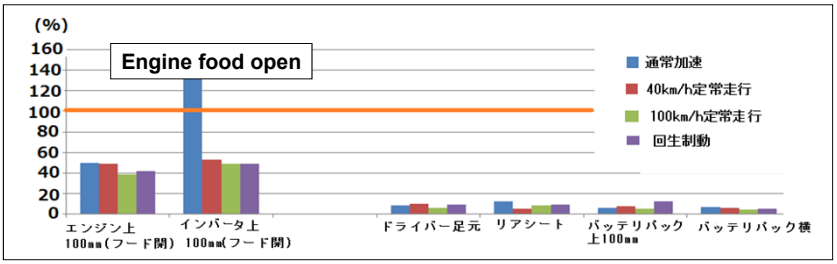


4-1 走行中の磁界レベル(プリウスPHV) 70

■磁界強度 (HV 走行)

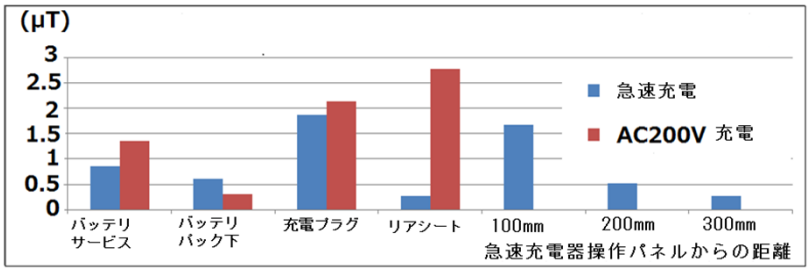


■ICNIRP %-1998 ガイドライン(HV 走行)

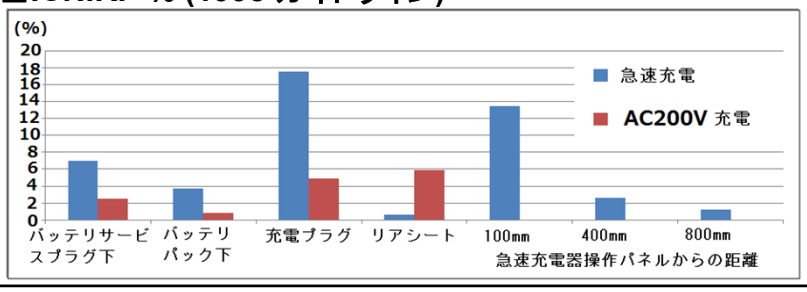


4-2 充電中の磁界レベル(LEAF) 71

■磁界強度　※急速充電器は日産製とは異なる

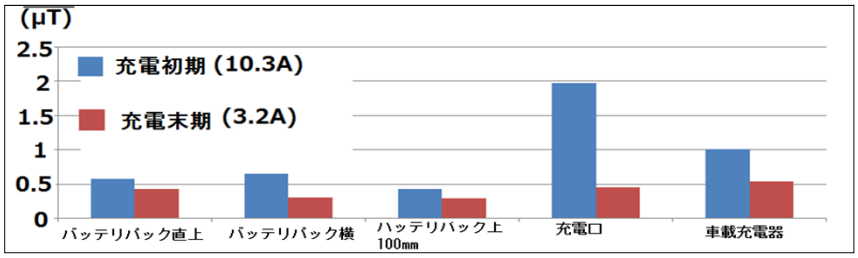


■ICNIRP % (1998 ガイドライン)

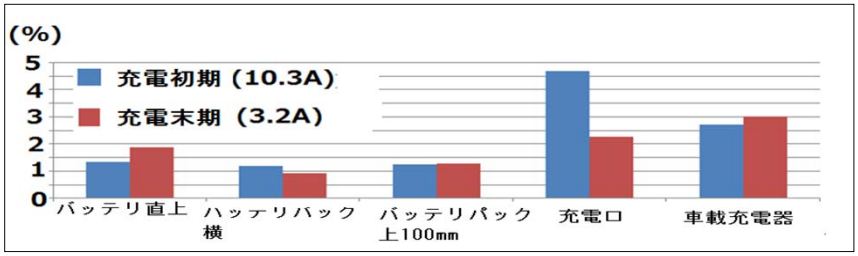


4-2 充電中の磁界レベル(プリウスPHV) 72

■磁界強度（充電中）



■ICNIRP %-1998 ガイドライン(充電中)



4-2 充電中の磁界レベル 73

■心臓ペースメーカへの影響

・心臓ペースメーカ使用者への注意

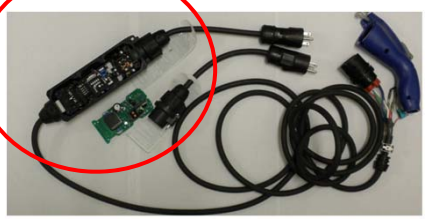
自動車会社	電動車両での注意
日産	・急速充電器から80cm以上離れること ・車載充電器から30cm以上離れること ・充電コントロールボックスから10cm以上離れること。
三菱自工	・車両購入時は係員に相談してください。
トヨタ Prius PHV	・充電器使用に関する注意を記載 ・電磁シールド構造を採用しており、ガソリン車と同等と記載

日産・急速充電器仕様	
定格入力電圧	AC200V 50/60Hz
定格入力容量	49kw
力率	95%以上
出力電圧範囲	DC50～500V
出力電流範囲	DC0～125A
定格出力電力	44kw
効率	90%以上

【写真出典:日産HP】

充電器、充電ケーブル、車載充電器に課題

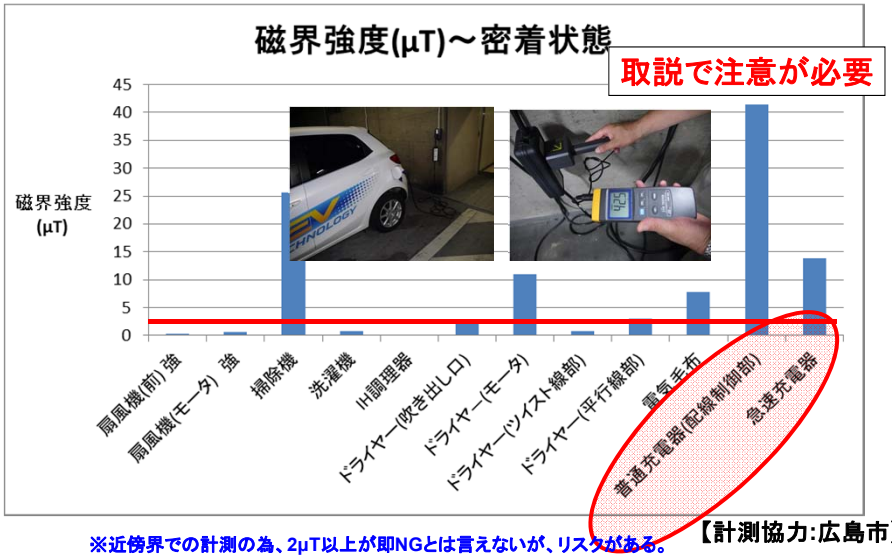
4-2 充電中の磁界レベル 74



充電ケープルのコントロールユニットからの漏洩磁界が大きい。

4-2 充電中の磁界レベル 75

■商用周波数での磁界強度、計測事例



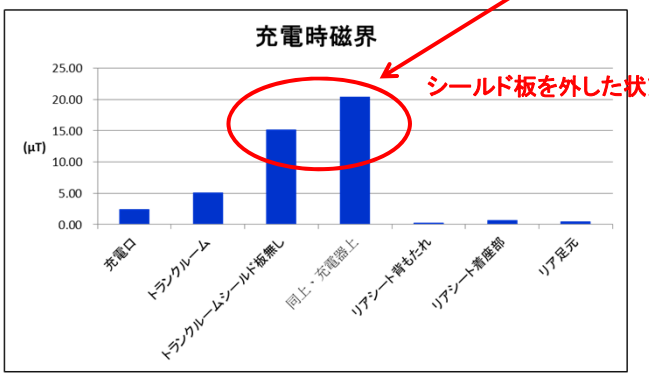
※近傍界での計測の為、2μT以上が即NGとは言えないが、リスクがある。

【計測協力:広島市】

4-2 充電中の磁界レベル 76

■i-MiEV充電時、商用周波数磁界

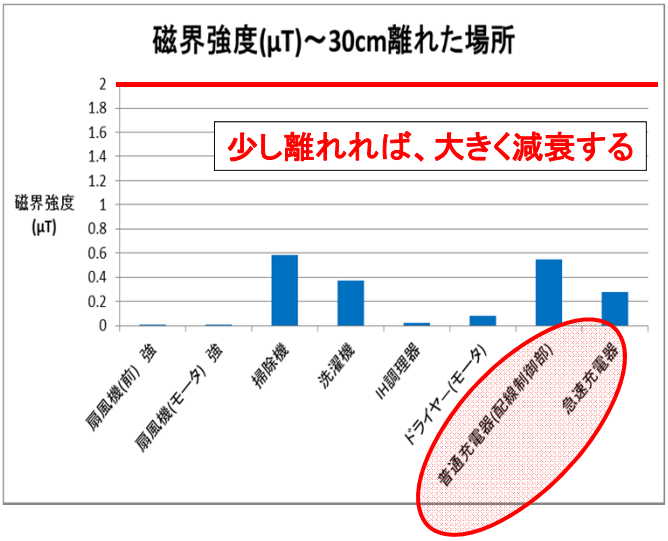
	μT
充電口	2.41
トランクルーム	5.06
トランクルーム シールド板無し	15.11
同上、充電器上	20.40
リアシート背もたれ	0.30
リアシート着座部	0.67
リア足元	0.42



2013.10.11

4-2 充電中の磁界レベル 77

■商用周波数での磁界強度、計測事例



【計測協力:広島市】

4-2 充電中の磁界レベル 78

厚生労働省は、心臓ペースメーカーが電気自動車（EV）の充電器から発生する電磁波で誤作動を起こす危険があるとして、製造販売業者に対し、充電器に近づかないなどの注意事項を添付文書に記載するよう指示した。

〈1〉電気自動車の急速充電器は使用しない
〈2〉急速充電器の設置場所には可能な限り近づかない
〈3〉普通充電器の充電スタンドなどには密着しない

(2013年6月27日 読売新聞)

4-2 充電中の磁界レベル 79

■厚労省「医薬品・医療機器等安全情報」No.302 2013年6月

・電気自動車の充電器による植え込み型心臓ペースメーカ等への影響に係る使用上の注意の改訂について

・5社25機種の心臓ペースメーカ(IPG)、除細動機能u無両室ペーシングパルスジェネレータ(CRT-P) を評価した結果は下記。

・以上が発生した機種数と最大距離

	IPG.CRT-Pの機能設定	
	単極設定	双極設定
急速充電器	12機種（53cm）	−
通信機能付普通充電器	10機種 （12.5cm）	2機種 （5cm）
普通充電器	10機種 （7.5cm）	−

4-2 充電中の磁界レベル 80

■日本不整脈ディバイス工業会 ホームページ

■自動車メーカ説明事例(日産)

取説では、「医療電気機器製造業者に確認してから充電作業を行う」と表記
Q&Aでは、以下の様に回答

○急速充電器

・急速充電器背面の一次電源ケーブルから電磁波が発生しているため、充電中は充電器背面に近づかないようお願いい たします。

・急速充電器前面から発する電磁波により、80cm以内では影響が出る可能性がありますので、機器本体から確実に80cm以上離れて充電するよう お願いします。

○普通充電器

・車載充電器の30cm以内、充 電ケーブルのコントロールボックスの10cm以内で影響が出る可能性があります。

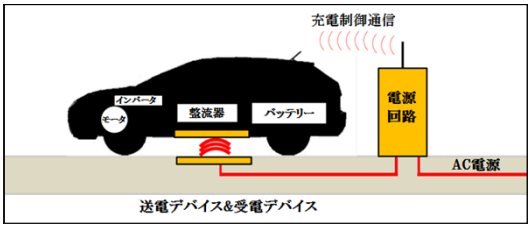
4.3 ワイヤレス充電での電磁波課題 81

■電動車両用ワイヤレス充電システムのニーズ

電気自動車やプラグインハイブリッド車の充電操作には、下記問題があり、ワイヤレス充電のニーズが高く、開発が進んでいる。

- 服や手が汚れる。
- 女性には重くて操作しづらい。
- 耐久劣化で断線する可能性がある。
- 雨天時に感電しないか気になる。

【急速充電プラグ(左)と普通充電プラグ(右)】



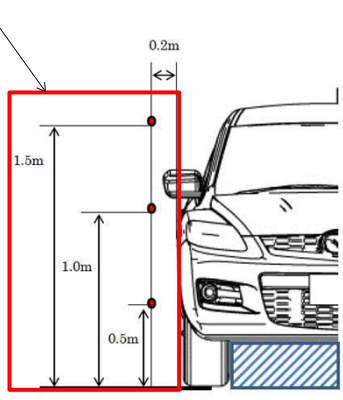
【ワイヤレス充電システム】

4.3 ワイヤレス充電での電磁波課題 82

■磁界共鳴式非接触給電の 漏洩磁束

・ICNIRP(国際非放射線防護委員会)ガイドライン以下

@80～90kHz
27μT以下



・心臓ペースメーカへの影響を確認し、必要であれば注意喚起が必要

4-4.電動車両の磁界レベルまとめ

83

①車両＆②充電システム

・現状の市販車は問題無いと思われる。
・充電システムに関しては心臓ペースメーカへの配慮が必要
・今後の課題
　車両ボディの樹脂化

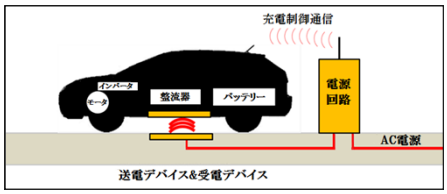
カーボンファイバー化

【BMW i3 EV 2013年導入】

【BMW i8 PHV 2014年導入】

③非接触充電システム

・2014年末までに標準化
・2015年以降普及
・ガイドラインを順守した
　開発が必要



5. まとめ

84

①パワーエレクトロニクス開発者は、電磁波の刺激作用、熱作用に対してICNIRPのガイドラインを守らなければならない。
使用環境(ex.複数の機器を同時使用)含めて守らなければならない。

②また、心臓ペースメーカ装着者への安全配慮が必要である。
影響を及ぼす可能性があるときは、注意喚起が必要。
最も厳しい条件では、影響を防止できなくても、可能な限り漏洩磁界を低減することが望ましい。
(多くの患者さんのリスク低減になる。)

謝意 85

■本調査は、文部科学省　地域イノベーション戦略支援プログラム「ひろしま医工連携ものづくりイノベーション推進地域」のテーマの1つとして行われた。

■調査に当たって国内外の有識者の方々から貴重なご意見を伺うことが出来、全容が把握できました。
ここに、謝意を表します。

・首都大学東京　理工学研究科　電気電子工学専攻　　多氣教授
・USCIホールディングス(株)　　豊島先生
・グラーツ工科大学　臨床工学　N.Leitgeb教授
・日本不整脈デバイス工業会EMC分科会長
ボストン・サイエンティフィック・ジャパン株式会社　　岩井洋様
・日本不整脈デバイス工業会EMC分科会副会長
セント・ジュード・メディカル株式会社　　水野正裕様

参考文献 86

・「新・電気の暮らしと健康不安」 電気学会
・「時間変化する電界、磁界及び電磁界による暴露を制限する為のガイドライン」
国際非放射線防護委員会
・「各種電波利用機器の電波が植込み型医療機器へ影響を及ぼすことを防止するためのガイドライン」 総務省
・「電磁界生体影響問題の最近の動向」
電気学会電磁界生体影響問題調査特別委員会
・「電磁界生体影響問題の経緯と最近の動向」 首都大学東京　多氣昌生
・「Cardiac Pacemakers Step by Step」S. Serge Barold他
・「植え込み型ペースーメーカー等との両立性」
USCIホールディング㈱　豊島　健
・「心臓ペースメーカの電磁波鑑賞評価方法と対策の研究動向」
USCIホールディング㈱　豊島　健
・「各種電波利用機器の電波が植込み型医療機器へ及ぼす影響を防止するための指針」　総務省(平成23年5月)
・「携帯電磁波の人体影響」　集英社新書　矢部武
・「ほんとうに怖い電磁波の話」　株行会社金曜日　植田武智　加藤やすこ

87

以上